

POSITIONING DEVICE FOR STAGE

Patent Number: JP11194824
Publication date: 1999-07-21
Inventor(s): WATANABE KAZUhide; SATO KAZUKI; HAGA NAOHIDE; KINO YOSHINORI
Applicant(s): EBARA CORP
Requested Patent: ☐ JP11194824
Application Number: JP19970369519 19971226
Priority Number(s):
IPC Classification: G05D3/00; G05D3/12; G05D3/12; H01L21/027; H01L21/68; H02P5/00
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a stage positioning device which can stably perform fine positioning operation.

SOLUTION: This device is equipped with a stage 11 where a sample W irradiated with a beam B is mounted, actuators 12a, 12b, 12c, and 12d which float and support the stage 11 without contacting and control its movement, a 1st sensor 13 which measures relative displacement between the stage 11 and actuators 12a, 12b, 12c, and 12d, a 2nd sensor 36 which measures relative displacement between the actual position on the sample irradiated with the beam B and a target irradiation position, and a controller 15 which moves and controls the stage so that the relative displacement detected by the sensor 36 decreases.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-194824

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月21日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I		
G 0 5 D 3/00		G 0 5 D 3/00	B	
3/12		3/12	H	
	3 0 4		3 0 4	
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/68	K	
21/68		H 0 2 P 5/00	1 0 1 B	
審査請求 未請求 請求項の数11 F D (全 7 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平9-369519

(22) 出願日 平成9年(1997)12月26日

(71) 出願人 000000239

株式会社荏原製作所

東京都大田区羽田旭町11番1号

(72) 発明者 渡辺 和英

神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社荏原総合研究所内

(72) 発明者 佐藤 一樹

神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社荏原総合研究所内

(72) 発明者 芳我 尚秀

神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社荏原総合研究所内

(74) 代理人 弁理士 渡邊 勇 (外2名)

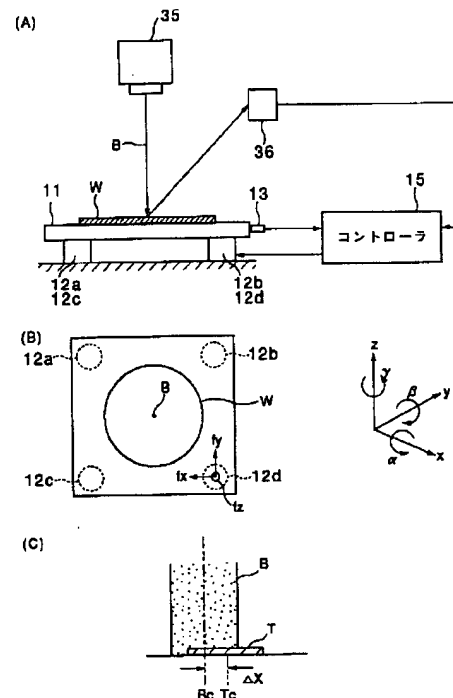
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ステージの位置決め装置

(57) 【要約】

【課題】 微細な位置決め動作を安定に行うことができるステージの位置決め装置を提供する。

【解決手段】 ビームBが照射される試料Wを載せるステージ11と、ステージ11を非接触で浮上支持すると共に移動制御するアクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dと、ステージ11とアクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dとの相対変位を測定する第1のセンサ13と、ビームBの試料上の実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を測定する第2のセンサ36と、センサ36により検出された相対変位を減少させるようにステージを移動制御するコントローラ15とを備えた。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ビームが照射される試料を載せるステージと、該ステージを非接触で浮上支持すると共に移動制御するアクチュエータと、前記ステージと前記アクチュエータとの相対変位を測定する第1のセンサと、前記ビームの前記試料上の実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を測定する第2のセンサと、該センサにより検出された相対変位を減少させるように前記ステージを移動制御するコントローラとを備えたことを特徴とするステージの位置決め装置。

【請求項2】 前記アクチュエータは、前記ステージに装着した磁性材又は永久磁石に対して、電磁石又は電磁石と永久磁石とを併用して磁気力を及ぼすことで、前記ステージを浮上支持すると共に移動制御することを特徴とする請求項1記載のステージの位置決め装置。

【請求項3】 前記コントローラは、前記ステージと前記アクチュエータとの相対変位を第1の制御量とし、該第1の制御量を指令位置に追従させるように動作させ、前記ビームの試料上の実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を第2の制御量とし、該第2の制御量を減少させるように前記ステージを動作させることを特徴とする請求項1記載のステージの位置決め装置。

【請求項4】 前記コントローラは、前記ビームの試料上の実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を、前記ステージの重心位置の相対変位に座標変換する演算部と、該座標変換した重心位置の変位に対して操作量を生成する演算部と、該生成した操作量を前記電磁石の各作用点における操作量に分配する演算部とを備えたことを特徴とする請求項3記載のステージの位置決め装置。

【請求項5】 前記ステージには振動検出のためのセンサを備え、該センサにより検出された加速度を前記コントローラに入力し、前記コントローラはこの振動が減少するように制御することを特徴とする請求項3記載のステージの位置決め装置。

【請求項6】 前記コントローラは、前記加速度を前記ステージの重心位置の加速度に座標変換する演算部と、該変換した座標の加速度に基づいて操作量を生成する演算部と、該生成した操作量を前記電磁石の各作用点における操作量に分配する演算部とを備えたことを特徴とする請求項3記載のステージの位置決め装置。

【請求項7】 前記ビームは、電子ビーム、又は光ビームであることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載のステージの位置決め装置。

【請求項8】 前記ステージを浮上支持するアクチュエータは、除振装置上に搭載され、前記アクチュエータの固定部の振動を減少させるようにしたことを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載のステージの位置決め装置。

【請求項9】 前記ステージ又は該ステージを浮上支持するアクチュエータは、その表面を磁性材で被覆され、

前記アクチュエータの磁石の磁気を外部に対して遮蔽するようにしたことを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載のステージの位置決め装置。

【請求項10】 前記ステージは、該ステージを浮上支持するアクチュエータを取り囲むように、ラビリンス構造の磁性材のカバーを設け、前記アクチュエータの磁石の磁気を外部に対して遮蔽するようにしたことを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載のステージの位置決め装置。

【請求項11】 前記アクチュエータは、電磁石を固定している部材にペルチェ素子を装着し、該ペルチェ素子の発熱側に冷却水流路を設け、前記アクチュエータの電磁石の発熱を吸収するようにしたことを特徴とする請求項1乃至10のいずれかに記載のステージの位置決め装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ステージの位置決め装置に係り、特に半導体製造装置や検査装置等の試料を載置するのに用いて好適な、微細な位置決めを行うことのできるステージの位置決め装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体製造装置や検査装置等においては、その試料を通常XYステージに載置して、その処理や観察等を行っている。近年、半導体デバイスの高集積化が進むにつれて回路の配線が微細化し、配線間距離も狭くなりつつある。特にサブミクロン以下のリソグラフィの場合、層間での高い重ね合わせ精度を確保するためには位置決めが必要であり、しかも高速で移動位置決めをしないとスループットにも影響する。

【0003】しかしながら、従来の試料を載置するXYステージは、設置台に置かれたアクチュエータ、例えば、サーボモータにより、ボールネジ等を介して、X方向或いはY方向のフィードバック制御等により、位置決め制御されていた。このように、機械的摩擦がある機構では、高速且つ高精度の位置合わせには必ずしも十分なものではなかった。更に、機械的摩擦を回避した空気軸受とリニアモータを使った機構でも、テーブル加減速時の反力で装置全体がその系の固有振動数で励振され、位置合わせに悪影響を与えるという問題点があった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】例えば、スキャンタイプのステッパでは、XYステージを高速、高精度且つスムーズに移動させる必要がある。このように、半導体製造装置等においては、XYステージ上の測定対象物、加工対象物等の試料を高速且つ高精度に位置決めできる装置の必要性がますます要求されている。電子顕微鏡でも同様であり、サブミクロンオーダーの位置決めを、精度よく、且つ高速に行うことができる装置が望まれている。ところで、このような微細な位置決めを要する装置にお

いては、振動の影響を受けやすく、これによりせっかく位置合わせしても、その位置がずれてしまうという問題がある。

【0005】このため、除振装置を用いることで、設置床から伝達する振動、或いは空調等による空気を媒体として伝達する外乱振動に由来するこれらの振動を、遮断或いは減衰させることが行われている。しかしながら、これらの除振装置が制振対象とする振動は、除振台テーブルの振動に限られる。即ち、例えば半導体製造装置を除振台テーブル上に載置しても、半導体製造装置内で試料を加工するビーム自体の振動を制振することはできない。このため、サブミクロンオーダの位置決めを要するような場合には、ビーム自体の振動により、加工のポイントであるビーム照射位置の位置ずれを生じてしまうという問題がある。

【0006】本発明は上述した事情に鑑みて為されたもので、微細な位置決め動作を安定に行うことができるステージの位置決め装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明のステージの位置決め装置は、ビームが照射される試料を載せるステージと、該ステージを非接触で浮上支持すると共に移動制御するアクチュエータと、前記ステージと前記アクチュエータとの相対変位を測定する第1のセンサと、前記ビームの前記試料上の実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を測定する第2のセンサと、該第2のセンサで検出された相対変位を減少させるように前記ステージを移動制御するコントローラとを備えたことを特徴とする。

【0008】上述した本発明によれば、試料の加工又は測定のために照射するビームの、試料上の実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を測定し、その相対変位を減少させるように直接ステージを移動制御することから、ビームを目標照射位置に正確に位置決めすることが可能となる。これによりビーム自体が振動していても、又ステージ自体が振動していても、半導体製造装置等においては微細な位置決め動作を精度よく行うことが可能となる。これにより、例えば半導体製品等の製造歩留まり等に良好な影響をもたらすことができる。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について添付図面を参照して説明する。

【0010】図1は、本発明の一実施形態のステージの位置決め装置を示す。このステージの位置決め装置においては、試料を載置するステージ11を、その四隅において、アクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dで支持している。アクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dは並進方向と回転方向に6自由度(X, Y, Z, α , β , γ 方向)の制御力 $f_x, f_y, f_z, f_\alpha, f_\beta, f_\gamma$ を発生する。ステージ11には、電子ビーム又は光ビームBにより、加工又は測定の対象となる半導体ウェハ(試料)Wが載置されている。又、ステージの位

置を検出して、アクチュエータ(固定部)に対する相対変位の信号を出力する変位センサ(第1のセンサ)13を備えている。更に、その変位センサ13の相対変位信号と後述するビームの実際照射位置と目標照射位置の相対変位信号に基づき、前記アクチュエータの発生する力を制御するコントローラ15を備えている。

【0011】アクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dは、電磁石又は電磁石と永久磁石との組み合わせからなり、その磁極面が対向したステージには磁性材又は永久磁石が装着されている。従って、電磁石の励磁電流を調整することで、ステージに磁気吸引力を及ぼすことができ、ステージを浮上支持すると共に移動・位置決め制御する。電磁石は浮上支持制御用と水平方向制御用とをそれぞれ備え、X, Y, Z, α , β , γ 方向の6自由度の制御力を発生することが可能である。いずれのアクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dにおいても、アクチュエータに供給する電流又は電圧を制御することで、極めて高速の応答性を有する制御力を発生し、微細な位置決め制御が可能である。

【0012】ステージ11には例えば電子ビーム露光のための半導体ウェハ等の試料Wが載置されている。そしてこの試料Wは、例えば電子ビーム露光用のレジストが塗布されており、電子ビームBの照射により微細パターンが加工形成される。即ち、ビームBはビーム源35から照射され、半導体ウェハWの所定の目標位置に照射することでパターン加工を行う。この目標照射位置への位置決めのため、ステージ11はアクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dにより移動制御される。この位置合わせは、線幅がサブミクロンオーダの半導体装置の製造においては、当然のことながらサブミクロンオーダ以下の位置決め精度が要求される。

【0013】従って、この位置決め動作は、ビームの実際の照射位置に試料の目標照射位置を直接合わせる必要がある。このため半導体ウェハに照射するビームの実際の照射位置と、目標照射位置との相対的な変位を測定するセンサ(第2のセンサ)36を備えている。この相対変位の測定は、一例として次の手法を用いる。即ち、図1(c)の拡大図に示すように、半導体ウェハWに目標照射位置を示すターゲットパターンTを設け、このパターンTは例えば電子ビーム等のビームを反射する材料が用いられる。そしてこのパターンTにビームBが照射されると、ビームBの中心 B_c と、ターゲットパターンTの中心 T_c とが一致する。これにより反射するビーム量は最大となり、この反射したビーム量をセンサ36で検出することにより、ビームの目標照射位置と実際の照射位置とが一致したことを判定することができる。又、ビームBの中心 B_c と、ターゲットパターンTの中心 T_c とがずれるを生じると、これにより反射するビーム量は変化することとなり、この反射するビーム量の変化からビームの目標照射位置と実際の照射位置との相対変位を測定することができる。

【0014】そしてこのビームBの実際の照射位置と目標照射位置との相対変位信号と、ステージの固定側に対する相対変位信号とをコントローラ15に入力し、ビームの実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を減少させるようにステージ11をアクチュエータ12で移動制御する。即ち、ビームの実際の照射位置Bに試料WのターゲットパターンTを直接位置決めするように、アクチュエータ12はステージ11を駆動する。

【0015】図2及び図3は、この位置決め制御のブロック図を示す。図2に示す制御系は、第2のセンサのビーム照射位置の相対変位信号 X_r 、即ち、ビームBの実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を参照信号として入力し、第1のセンサのステージ位置の相対変位信号 X をその信号に追従させるようにコントローラ15を介してアクチュエータを動作させるものである。即ち、ビーム照射位置の相対変位信号 X_r が比較器16に入力され、ステージ位置変位信号 X との差分が算出され、この差分が零となるようにコントローラ15で補償信号（操作信号）が形成され、アクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dに供給される。

【0016】プラント17は、アクチュエータへの入力信号とそのアクチュエータの作動結果によるステージの位置 X との関係を示すもので、アクチュエータにより駆動されたステージの位置信号 X は、比較器16に帰還される。即ち、コントローラ15は、前記ステージと前記アクチュエータとの相対変位を第1の制御量とし、前記ビームの試料上の実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を第2の制御量とし、これらの制御量に対して前記ステージが逆相の動作をする。従って、ビーム照射位置の相対変位信号 X_r が入力されないときは、ステージは常にその固定部に対する相対変位信号 X で示される基準位置に位置決めされる。ビーム照射位置の相対変位信号 X_r が入力されると、その信号に従ってアクチュエータが作動し、これによりステージが、ビームBの実際の照射位置と目標照射位置との相対変位が減少し、ゼロとなるように位置決めされる。即ち、ステージ11は、ビームBの実際の照射位置に目標照射位置が一致するように、追従するように動作する。

【0017】図3に示す制御系は、ビーム照射位置の相対変位信号 X_r を伝達関数 Q を通して入力し、ステージを位置補正信号に追従するようにアクチュエータを動作させるフィードフォワード制御に関するものである。即ち、図3に示す制御系は、第2のセンサのビーム照射位置の相対変位信号 X_r 、即ち、ビームBの実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を参照信号として比較器16に入力し、第1のセンサのステージ位置の相対変位信号 X をその信号に追従させるようにコントローラ15を介してアクチュエータを動作させることは、図2に示す制御系と同様である。ビーム照射位置の相対変位信号 X_r が比較器16に入力され、ステージ位置変位信号 X との差分

が算出され、この差分が零となるようにコントローラ15で補償信号（操作信号）が形成され、アクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dに供給される。

【0018】この制御系においては、ビームBの実際の照射位置と目標照射位置との相対変位信号 X_r が、伝達関数 Q を介してコントローラ15の出力信号に加算器16aにより加算される。この伝達関数 Q は、一例として次の関係式により与えられる。

$$Q = -(1 + PH) / P$$

但し、 P ：プラントの伝達関数

H ：コントローラの伝達関数

このようなフィードフォワード制御により、コントローラ H の制御可能な周波数帯域を、大幅に拡張することができ、制御の安定性を高めることができる。

【0019】図4は、任意の点のビームBの実際の照射位置と目標照射位置との相対変位信号に基づく移動位置補正信号を各アクチュエータ位置での移動位置補正信号に変換するフロー図を示す。ステージの平面上の移動位置指令値は任意の X 、 Y 座標で与えられる。しかしながらステージをこの移動位置指令値に移動させるためのアクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dは、図示するようにステージの四隅部に設けられている。従って、各アクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dにおける位置補正信号は、移動位置指令値からそれぞれ変換されなければならない。このため、座標変換行列を用いて任意に点の移動位置指令値は各アクチュエータにおける位置補正信号に変換される。

【0020】従って、コントローラ H は、前記ビームの試料上の実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を、まず前記ステージの重心位置の相対変位に座標変換する演算部と、該座標変換した重心位置の変位に対して操作量を生成する演算部と、その生成した操作量を前記電磁石の各作用点における操作量に分配する演算部とを備える。

【0021】前記ステージ11には振動検出のためのセンサを備えるようにしてもよい。このセンサにより検出された試料Wの加速度を前記コントローラ H に入力し、前記コントローラ H はこの振動が減少するように制御する。これにより、ステージ自体が振動している場合は、ステージ自体の振動を減衰させることができ、ビームBの実際の照射位置と目標照射位置とのステージの位置決め動作をより確実なものとすることができる。この場合には、前記コントローラ H は、前記加速度を前記ステージ11の重心位置の加速度に座標変換する演算部と、該変換した座標の加速度に基づいて操作量を生成する演算部と、該生成した操作量を前記電磁石の各作用点における操作量に分配する演算部とを備えている。

【0022】図5は、本発明の一実施形態の位置決め装置の電磁アクチュエータ部分の構成の一例を示す。試料を載置するステージ11は、その四隅において、電磁石2

1,22を備えた電磁アクチュエータ12により支持される。電磁石21はそのコイルにコントローラより供給される励磁電流で対向するステージに固定された磁性体に磁気吸引力を及ぼすことで、水平方向の位置決め動作を行う。電磁石22は同様にステージ11に固着された磁性体11vに磁気吸引力を及ぼすことで、ステージ11を非接触で浮上支持する。これにより、設置床からの振動が遮断される。尚、この浮上支持には、永久磁石を併用するようにしても良い。これにより電磁石の励磁電流の負担を軽減することができる。

【0023】ここで、図5に示すように電磁石によるアクチュエータを使用した場合に、アクチュエータ自身が発生する漏れ磁束がステージ上方に漏れて影響しない様に、ステージ11の下面に磁性体のコーティングまたは板11aを備える。更に、アクチュエータ12を囲む様にラビリンス構造の磁性体のカバー11bを設ける。この場合、ラビリンス構造にした空間から漏れる磁束が上方に行かないように、アクチュエータ12を固定したステージ上の固定面19に磁性体のコーティングまたは板19aを設ける。更に、外ステージを真空中でも脱ガスの問題がなく使用できるようにコイルの部分がキャン20で囲まれている。尚、アクチュエータ全体をキャンで封止するようにしてもよい。

【0024】図6に電磁石を用いたアクチュエータの冷却システムの一例を示す。高精度に位置決めする場合には、電磁石に励磁電流を供給することで発生する熱の問題がある。この熱の発生によってアクチュエータの各部材が変形し、所望の位置決め精度が得られなくなるという問題がある。この対策として、熱の伝導速度が早いペルチェ素子を利用した冷却システムが考えられる。図中のアクチュエータ12はアウター型の電磁アクチュエータで、中央に固定側が配置され、外側に浮上体が配置される。熱を発生するのは、主に固定側の電磁石コイルなので、このコイルが固定されている部材（円筒形）の内側にペルチェ素子（円筒形）25を装着し、その内側に冷却水を流す通路27を設ける。この時、ペルチェ素子25の外側を吸熱側、内側を発熱側とする。この冷却システムによって、冷却水入口27より流入する冷却水がペルチェ素子25で移送した熱を吸収し、冷却水出口27より外部に排出するため、アクチュエータの各部を略常温に保つことができる。

【0025】又、温度を一定値に安定させるために電磁石の固定部材の温度を温度センサ26により検出し、ペルチェ素子25に流す電流を制御することによって、より安定な冷却システムを実現することができる。図7は、この温度制御系を示し、温度センサ26で検出した温度は、温度指令値と比較され、その差分を零とするように温度コントローラ28でPID制御される。温度コントローラ28の出力は、電流増幅器29で電流増幅されて、ペルチェ素子25に供給され、これにより吸熱側から発熱側への熱

の移送量が制御される。これにより、アクチュエータ各部の温度上昇を所定値の範囲内に一定に保持することができる。

【0026】図8に、本発明の一実施形態のステージの位置決め装置を除振装置上に装着した装置例を示す。電子ビーム発生装置等のビーム源10が、高性能の除振性能を有する能動型除振装置32の除振テーブル31上に載置される。ビーム源10のビームにより加工される試料Wを載置するステージ11及びこのステージを支持するアクチュエータ12a, 12b, 12c, 12dも、同様にテーブル31上に載置される。このような構成により、外部からステージ11、アクチュエータ12a, 12b, 12c, 12d、ビーム源10への振動の伝達が殆ど無くなり、更に高精密な位置決め制御が可能にしている。又、ステージ11の移動に伴う振動等の位置決め装置自体に発生する振動が抑制される。この除振装置には、電磁アクチュエータでテーブルを非接触で浮上懸架した磁気浮上除振装置、又は空気ばねと電磁アクチュエータを併用した除振装置が好適である。

【0027】尚、上述したビームBの実際の照射位置と目標照射位置とのステージの位置決め動作は、微細なパターンをビーム照射により形成する際の、位置決め誤差を補正するために主として用いられる。例えば別のパターンを形成するような大きなステージの移動に際しては、ステージとアクチュエータ固定側との相対変位を測定する第1のセンサの信号に基づいて、コントローラHのPID動作によりフィードバック制御され、位置決めされる。この際、ビームBの実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を示す信号Xrは、その出力が停止され、例えば比較器16の入力はゼロに設定される。

【0028】又、ビームBの実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を検出する第2のセンサは、実際に加工に用いるビームBそのものを用いてもよいが、ビームBと平行性が保たれている別のビームB'を用いてもよい。この場合は、ビームBが試料の加工部分を照射し、これと平行なビームB'が試料上のターゲットパターンTを照射することで、その相対変位が求められる。又、ビームBそのものを加工と相対変位の検出の双方に兼用する場合には、時分割により、加工と相対変位の検出とを分けるようにしてもよい。

【0029】

【発明の効果】以上に説明したように本発明によれば、ビームの実際の照射位置と目標照射位置との直接的な極めて高精度の位置決め制御が可能となる。従って、サブミクロンオーダのビームによる微細加工装置等の試料台として極めて好適である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態のステージの位置決め装置の(A)立面図、(B)平面図、(C)部分拡大図。

【図2】上記位置決め装置の制御系のブロック図。

【図3】上記位置決め装置の制御系のブロック図。

【図4】上記位置決め装置の制御系のブロック図。

【図5】本発明の一実施形態のステージの位置決め装置のアクチュエータの立断面図。

【図6】図5の変形例を示す説明図。

【図7】図6の冷却装置の制御ブロック図。

【図8】高性能除振装置上に搭載したステージの位置決め装置の説明図。

【符号の説明】

11 ステージ

12, 12a, 12b, 12c, 12d アクチュエータ

13 ステージのアクチュエータ固定側との相対変位を検出するセンサ

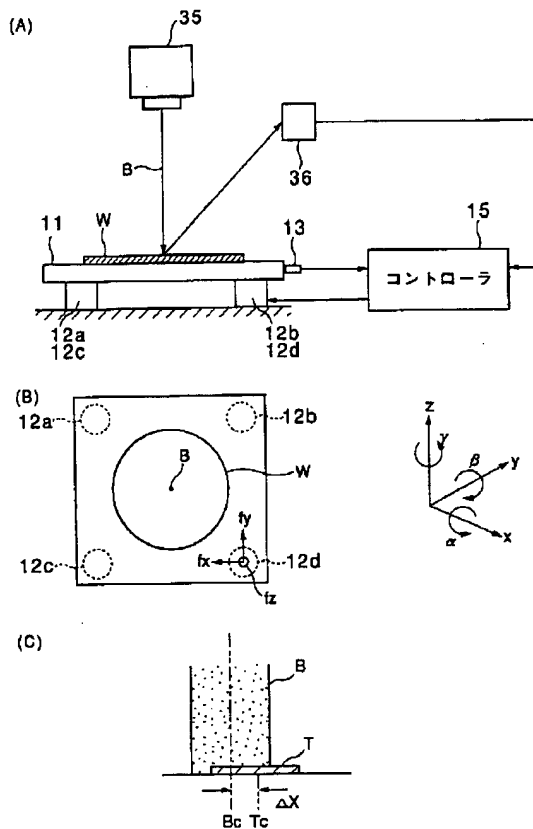
15 コントローラ

36 ビームの実際の照射位置と目標照射位置との相対変位を検出するセンサ

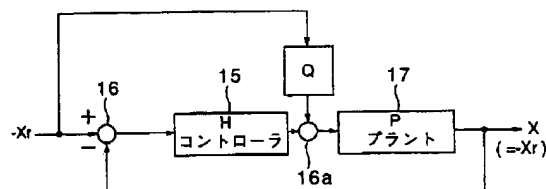
B ビーム

W 半導体ウェハ（試料）

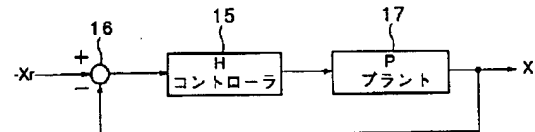
【図1】



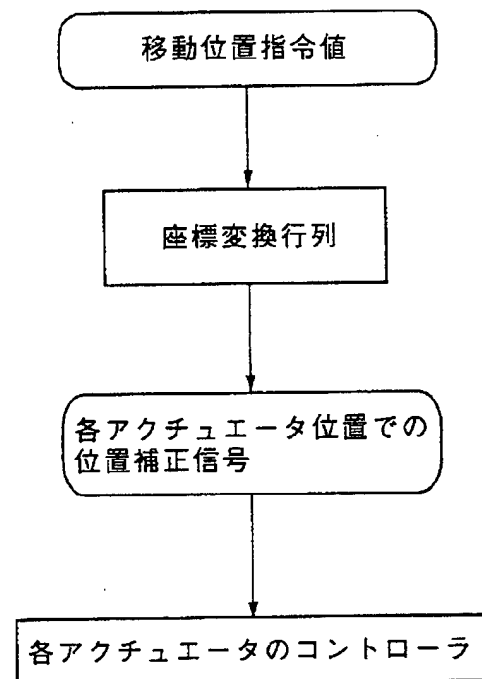
【図3】



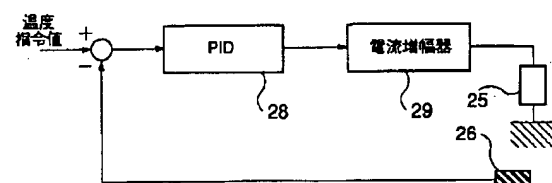
【図2】



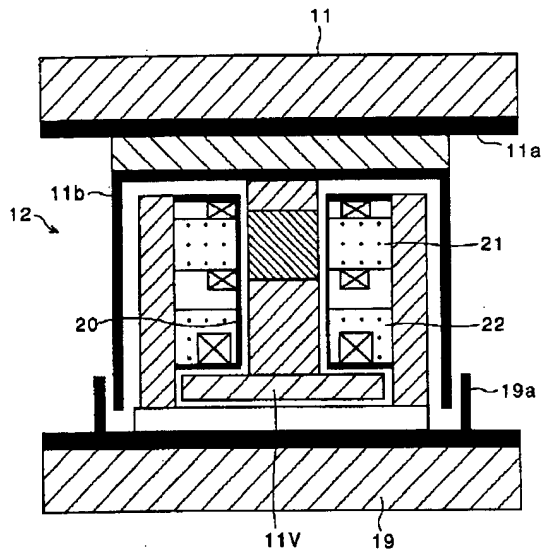
【図4】



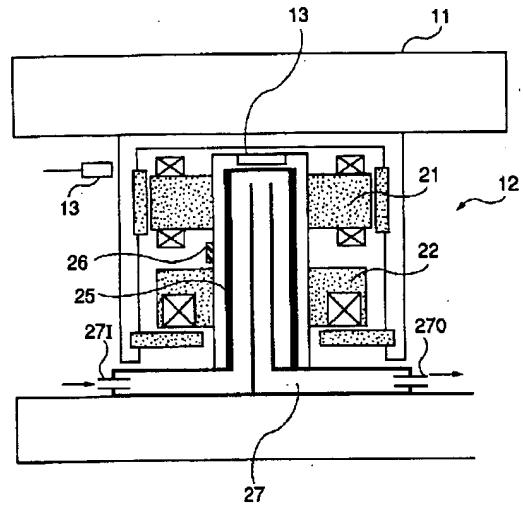
【図7】



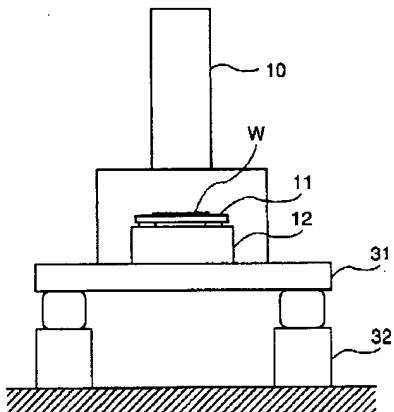
【図5】



【図6】



【図8】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁶
H02P 5/00

識別記号
101

FI
H01L 21/30

515G

(72)発明者 城野 義紀
神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株
式会社荏原総合研究所内